

DOI: 10.5846/stxb201405281097

李喆, 王念民, 孙大江, 纪锋, 霍堂斌, 马波, 姜作发, 华振河. 五大连池浮游动物群落结构的时空特征. 生态学报, 2016, 36(4): - .

Li Z, Wang N M, Sun D J, Ji F, Huo T B, Ma B, Jiang Z F, Hua Z H. Spatial and temporal distributions of zooplankton community structure in Wudalianchi Lake. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(4): - .

五大连池浮游动物群落结构的时空特征

李 喆^{1,*}, 王念民¹, 孙大江¹, 纪 锋², 霍堂斌¹, 马 波¹, 姜作发¹, 华振河³

1 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 农业部黑龙江流域渔业资源环境科学观测实验站, 哈尔滨 150070

2 中国水产科学研究院长江水产研究所, 武汉 430223

3 五大连池日河渔业有限公司, 黑河 164155

摘要: 基于 2011—2013 年五大连池的调查, 对浮游动物群落结构时空分布特征进行分析, 探讨重点放养鱼类之一鲢 *Aristichthys nobilis* 的合理放养量。结果表明, 五大连池浮游动物 4 类 82 种 (含未定种); 主要优势种集中于原生动物和轮虫, 有恩氏筒壳虫 *Tintinnidium entzii*、纵长异尾轮虫 *Trichocerca elongate* 等, 大型浮游动物中仅剑水蚤 *Cyclops* sp.、无节幼体 Nauplii 形成优势; 密度、生物量总计为 3794.98 ind/L 和 2.4558 mg/L; 多样性指数 H' 、 J 、 d 均值分别为 2.15、0.7 和 0.98; 浮游动物群落时空差异显著, 五池密度、生物量、多样性、均匀度较高, 二、三池相似且次于五池; 另外, 二、三池浮游动物的密度、生物量、多样性均呈现夏季高于春秋季节; 根据结果获得五大连池鲢的合理放养量为 5.71×10^5 尾。本研究可为五大连池生境保护和渔业资源的可持续利用提供科学依据。

关键词: 五大连池; 浮游动物; 群落结构

Spatial and temporal distributions of zooplankton community structure in Wudalianchi Lake

LI Zhe^{1,*}, WANG Nianmin¹, SUN Dajiang¹, JI Feng², HUO Tangbin¹, MA Bo¹, JIANG Zuofa¹, HUA Zhenhe³

1 Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Scientific Observation Station of Fisheries Resource and Environment in Heilongjiang River Basin, Ministry of Agriculture, Harbin 150070, China

2 Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China

3 Wudalianchi Rihe Fisheries Ltd., Heihe 164155, China

Abstract: Wudalianchi Lake is located in the hilly regions of Songnen Plain in northern Heilongjiang Province. The latitude and longitude of Wudalianchi Lake range from 48.56° N to 48.63° N and 126° E to 126.35° E. From 1719 to 1721, volcanic eruptions occurred in Laohei Mountain and Huoshao Mountain. Basalt flows blocked the Baihe River, a tributary of the Nen River, to form the bead-like Wudalianchi Lake consisting of five parts (P1-P5). Wudalianchi Lake is the second largest volcanic-dammed lake in China and is also a world geological park that is used for fisheries and tourism. The primary stocking fish are *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis* in part 2 (P2) and part 3 (P3) of Wudalianchi Lake. The lake has a continental monsoon climate, with a long, cold winter and a short, cool summer. The lake freezes in late October and thaws in early May. In July, the temperature rises to 21.0°C, on average. The annual average rainfall is 476.3 mm, mostly accumulating from June to August. The main water sources are rainfall and underground springs, and water flows from P5, P4, P3, and P2 to P1. P3 has the largest water area of 7.58 km², followed

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (HSY201201); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303056-5); 国家科技支撑计划 (2012BAD25B10-05); 黑龙江省冷水性鱼类种质资源及增养殖重点开放实验室 (201201)

收稿日期: 2014-05-28; **网络出版日期:** 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lizhe1010@126.com

by P5 (6.1 km²), P2 (2.63 km²), P4 (0.47 km²), and P1 (0.25 km²). P3 is the deepest region in the lake (average depth, 4.5 m). The average depths are 3.5 m in P2 and P5, and 2.5 m in P1 and P4. Wudalianchi Lake is a shallow eutrophic lake. The species composition, dominant species, density, biomass, and diversity of zooplankton were determined from samples collected from 13 stations in from 2011 to 2013. Based on the survey data, the spatial and temporal distribution of the zooplankton community structure were analyzed, and a reasonable stock density of *A. nobilis*, one of the key stocking fish in the lake, was discussed. The results showed that 82 species (including unidentified species) belonging to Protozoa, Rotifera, Copepoda and Cladocera were found in Wudalianchi Lake. The number and percentage of protozoan species (including unidentified species) (38, 46.3%) and Rotifera (33, 40.2%) were higher than those of Copepoda (6, 7.3%) and Cladocera (5, 6.2%). The dominant species of zooplankton were Protozoa and Rotifera in Wudalianchi Lake. The dominant species were *Tintinnidium entzii*, *Trichocerca elongata*, and so on. The average density and biomass were 3794.98 individuals (ind)/L and 2.4558mg/L respectively. The density of Protozoa was 2853.43 ind/L, and was highest in zooplankton. The biomass of Rotifera was 1.1133mg/L, and was highest in zooplankton. The average values for the Shannon-Wiener index (H'), Pielou index (J), and Margalef index (d) were 2.15, 0.7, and 0.98, respectively. The zooplankton community structure had significant spatial-temporal variation. The spatial distribution of zooplankton density, biomass, H' , and J in P5 were higher than in P2 and P3. The spatial and temporal distributions of density, biomass, and diversity indices were similar in P2 and P3. In addition, there were higher values of zooplankton density, biomass, and diversity indices in P2 and P3 in the summer than in the spring and autumn. Based on the survey data of zooplankton biomass, the reasonable stocking amount of *A. nobilis* was 5.71×10^5 . The present study shed light on the sustainable utilization of fisheries resources in Wudalianchi Lake.

Key Words: Wudalianchi Lake; zooplankton; community structure

五大连池地处黑龙江省北部,属高纬度地区较高海拔浅水湖泊,同时也是中国第二大火山堰塞湖,浮游生物有其特定的群落结构变动特征。20 世纪 80 年代,黑龙江省为充分利用水产资源,发挥渔业生产潜力,对不同类型重要湖泊的渔业资源量进行了调查,侵蚀型湖泊扎龙湖、茂兴湖浮游生物量最高,构造湖大、小兴凯湖浮游生物量最低,而五大连池、镜泊湖堰塞型湖泊浮游生物量居中^[1]。五大连池作为本省大型湖泊之一,也是重要养殖水域,对其渔业资源量的可持续利用一直受到关注。目前,五大连池具有渔业、旅游观赏等多项功能^[2]。鱼类资源丰富,有鱼类 9 科 34 属 38 种,经济鱼类 21 种;青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼 (*Ctenopharynxodon idellus*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Aristichthys nobilis*) 是五大连池人工放养经济种类^[3]。近五年,五大连池主要放养鱼类为鲢、鳙,投放水体由原来的三池,扩大到二池和三池。在自然条件下鲢主要摄食浮游植物而鳙则以浮游动物为主要食物^[4]。浮游动物对环境变化敏感,表现为显著的水域差异性和季节动态^[5]。其生物量的大小与合适程度在淡水滤食性鱼类的养殖中具有重要意义。合理放养养殖鱼类,不仅能使生物资源得到可持续利用、维持水域生态平衡,而且能够增加水产品生产量,提高经济效益^[6]。五大连池渔业资源经近 60 年的开发利用,其营养类型、浮游植物与水环境的关系以及植食性鱼类放养潜力已见报道^[1,7];但目前其浮游生物资源现状如何需要调查,群落结构的变动特征也需进一步掌握。2011—2013 年对五大连池浮游动物开展调查采样,以期掌握其群落结构的时空分布特征,重点比较水域面积较大的二、三、五池浮游动物的群落结构变化,为今后五大连池生态环境的保护和渔业资源的可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究水域概况

五大连池是我国第二大火山堰塞湖,位于 126°00′—126°21′E,48°34′—48°38′N。地处黑龙江省哈尔滨以

北 385km、黑河市以南 251km、松嫩平原的丘陵地区。1719—1721 年,老黑山和火烧山等火山爆发,玄武岩流阻塞讷漠尔河支流白河而形成五个溪水相连的自然湖泊,统称五大连池^[8]。五大连池水面功能主要是水产养殖,观光旅游,没有发电、灌溉、饮用等功能。五大连池属于寒温带大陆性季风气候,冬季严寒漫长,夏季凉爽短促;湖水于 10 月份末封冻,5 月份初解冻,无霜期 121 天,7 月份时气温达较高值,平均气温 21.0℃,年平均降雨量为 476.3mm,多集中在 6—8 月份^[9]。水源包括集雨和地下泉水,水位相对稳定,冬季冰面无塌陷。湖水流向由北向南,依次由五池流经四池、三池、二池和一池,最后注入讷漠尔河下泄嫩江。面积以三池最大,7.58km²,五池次之,6.1km²,其次是二池 2.63km²,四池 0.47km²,一池最小,仅 0.25km²;湖水深浅不一,以三池最深,平均水深 4.5m,二、五池 3.5m,一、四池较浅,仅 2.5m,属浅水湖泊;各池底质不尽相同,一、二、三池主要为玄武岩底质,四、五池西侧多为玄武岩,东侧主要为泥沙底质^[7]。

1.2 采样点及时间设置

根据五大连池自然概况、形态、利用程度,共设 13 个采样点。其中,一池(P1)1 个、二池(P2)3 个、三池(P3)5 个、四池(P4)1 个、五池(P5)3 个。采样点集中在各池的进出水口和中心区域(图 1)。浮游动物的采样时间分别为 2011 年 7、10 月份;2012 年 6、8 月份;2013 年 6、8、10 月份。

1.3 样品的采集

按照《内陆水域渔业自然资源调查手册》^[10],浮游动物的样品分定性、定量采集。定性样品用 25#浮游生物网拖捞获取;小型及微型浮游动物的定量采集表、底层混合水样 1L,当场用鲁哥氏液固定;大型浮游动物定量样品用 2.5L 采水器于各样点底、表层等量采水共 10 L,用 25#浮游生物网过滤取样,当即用波恩氏溶液固定,带回实验室镜检。各类浮游动物种类主要按文献鉴定^[11-14]。

1.4 数据分析

1.4.1 优势种的确定

优势种是根据物种的出现频率及个体密度来确定,用优势度表示。优势度计算公式:

$$Y = f_i \times p_i \quad (1)$$

式中, Y 是优势度, f_i 是第 i 物种的出现频率, p_i 是第 i 物种个体密度在总个体密度的比例,当 $Y \geq 0.02$ 时为优势种^[15]。

1.4.2 多样性指数的计算

本文选用 3 种多样性指数,Shannon-Wiener 多样性指数(H')^[16]、Pielou 均匀度指数(J)^[17]、Margalef 种类丰富度指数(d)^[18]从不同侧面反映五大连池浮游动物的多样性,公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \times \log_2 P_i \quad (2)$$

$$J = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (3)$$

$$d = \frac{S - 1}{\ln N} \quad (4)$$

式中, S 为总种数, n_i 为第 i 种的个体密度, N 为样品中生物总个体密度, H' 公式中 P_i 为第 i 种的个体密度

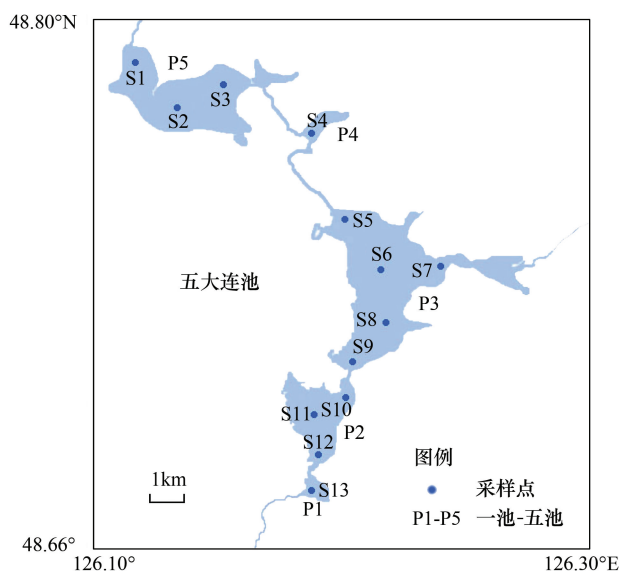


图 1 五大连池浮游动物采样点分布图

Fig. 1 Sampling sites of zooplankton in Wudalianchi Lake

(n_i) 在总个体密度(N)中的比例。

2 结果

2.1 种类组成及优势种类

五大连池浮游动物经鉴定共计 82 种(含未定种)。其中,原生动物、轮虫的种类相对较多,分别为 38 种(含未定种)、33 种(含未定种),分别占 46.3%、40.2%;桡足类、枝角类的种类较少,分别为 6 种(含未定种)、5 种(含未定种),共占 13.5%(表 1)。五大连池浮游动物的优势种类以原生动物为主,其次是轮虫。优势种的出现频率恩氏筒壳虫 *Tintinnidium entzii* (100.0%)、侠盗虫 *Strobilidium* sp. (85.7%)、滚动焰毛虫 *Askenasia volvox* (57.1%)、小筒壳虫 *Tintinnidium pusillum* (42.9%)、纵长异尾轮虫 *Trichocerca elongate* (42.9%) 以及螺形龟甲轮虫 *Keratella cochlearis* (42.9%) 的较高。同时,似铃壳虫 *Tintinnopsis* sp.、裸口虫 *Holophrya* sp.、针簇多肢轮虫 *Polyarthra trigla* 的出现频率均为 28.6%;另外,球形砂壳虫 *Diffugia globulosa*、圆钵砂壳虫 *Diffugia urceolata*、淡水筒壳虫 *Tintinnidium fluviatile*、锥形似铃壳虫 *Tintinnopsis conicus*、中华似铃壳虫 *Tintinnopsis sinensis*、王氏似铃壳虫 *Tintinnopsis wangi*、钟虫 *Vorticella* sp.、累枝虫 *Epistylis* sp.、刺胞虫 *Acanthocustis* sp.、异胞虫 *Heterophrys* sp.、蒲达臂尾轮虫 *Brachionus budapestiensis*、扁平泡轮虫 *Pompholyx complanata* 的出现频率相对较低,均为 14.3%;大型浮游动物中仅剑水蚤 *Cyclops* sp.、无节幼体 Nauplii 形成优势,而枝角类种类数量较少,未能在五大连池形成优势种群(表 2)。

表 1 五大连池浮游动物种类组成

Table 1 Species composition of zooplankton in Wudalianchi Lake

池 Lake	项目 Item	原生动物 Protozoa	轮虫 Rotifera	桡足类 Copepoda	枝角类 Cladocera	合计 Total
P1	种类数	6	3	2	1	12
	百分比 /%	50	25	16.7	8.3	100
P2	种类数	21	15	5	4	45
	百分比 /%	46.7	33.3	11.1	8.9	100
P3	种类数	34	21	6	3	64
	百分比 /%	53.1	32.8	9.4	4.7	100
P4	种类数	3	4	3	1	11
	百分比 /%	27.3	36.4	27.3	9.1	100
P5	种类数	27	19	5	4	55
	百分比 /%	49.1	34.5	9.1	7.3	100
合计	种类数	38	33	6	5	82
Total	百分比 /%	46.3	40.2	7.3	6.2	100

表 2 五大连池浮游动物优势种及优势度

Table 2 Dominant species and dominance of zooplankton in Wudalianchi Lake

中文名称 Chinese name	拉丁名称 Latin name	优势度 YDominance							出现频率 Occurrence frequency /%
		2011-07	2011-10	2012-06	2012-08	2013-06	2013-08	2013-10	
球形砂壳虫	<i>Diffugia globulosa</i>						0.03		14.3
圆钵砂壳虫	<i>Diffugia urceolata</i>	0.04							14.3
恩氏筒壳虫	<i>Tintinnidium entzii</i>	0.24	0.06	0.06	0.24	0.06	0.02	0.07	100
小筒壳虫	<i>Tintinnidium pusillum</i>				0.04		0.02	0.02	42.9
淡水筒壳虫	<i>Tintinnidium fluviatile</i>				0.02				14.3
侠盗虫	<i>Strobilidium</i> sp.	0.08	0.14	0.24	0.05		0.11	0.16	85.7

续表

中文名称 Chinese name	拉丁名称 Latin name	优势度 YDominance							出现频率 Occurrence frequency /%
		2011-07	2011-10	2012-06	2012-08	2013-06	2013-08	2013-10	
似铃壳虫	<i>Tintinnopsis</i> sp.						0.11	0.05	28.6
锥形似铃壳虫	<i>Tintinnopsis conicus</i>		0.04						14.3
中华似铃壳虫	<i>Tintinnopsis sinensis</i>							0.02	14.3
王氏似铃壳虫	<i>Tintinnopsis wangi</i>				0.03				14.3
钟虫	<i>Vorticella</i> sp.						0.03		14.3
累枝虫	<i>Epistylis</i> sp.			0.03					14.3
刺胞虫	<i>Acanthocutis</i> sp.							0.03	14.3
异胞虫	<i>Heterophrys</i> sp.	0.07							14.3
滚动焰毛虫	<i>Askenasia volvox</i>	0.02	0.04	0.05	0.02				57.1
裸口虫	<i>Holophrya</i> sp.	0.03	0.07						28.6
纵长异尾轮虫	<i>Trichocerca elongata</i>				0.08	0.03	0.17		42.9
针簇多肢轮虫	<i>Polyarthra trigla</i>				0.02	0.04			28.6
螺形龟甲轮虫	<i>Keratella cochlearis</i>			0.05		0.02		0.02	42.9
蒲达臂尾轮虫	<i>Brachionus budapestiensis</i>	0.02							14.3
扁平泡轮虫	<i>Pompholyx complanata</i>						0.05		14.3
剑水蚤	<i>Cyclops</i> sp.					0.05			14.3
无节幼体	Nauplii					0.08			14.3

2.2 密度、生物量的时空分布

五大连池浮游动物密度、生物量的均值总计分别为 3794.98ind/L 和 2.4558mg/L。其中,原生动物的密度最多,2853.43ind/L,占 75.2%;轮虫次之,860ind/L,占 22.7%;桡足类 74.08ind/L,占 2.0%;枝角类 7.47ind/L,占 0.1%。轮虫、桡足类的生物量较高,分别为 1.1133mg/L、0.9132mg/L,分别占 45.3%、37.2%;枝角类、原生动物的生物量较低,分别为 0.3389mg/L、0.0904mg/L,共占 17.5%。五大连池五个水体虽溪水相连,但由于环境条件、营养成分的不同(自一池向五池总磷分别为 0.298mg/L、0.322mg/L、0.267mg/L、0.197mg/L、0.603mg/L,总氮自一池向五池分别为 1.089mg/L、0.933mg/L、1.147mg/L、1.27mg/L、1.57mg/L),浮游动物密度、生物量的水平分布差异较大,表现为五池最高(密度:5971.76ind/L;生物量:5.6981mg/L),一池最低(密度:1521ind/L;生物量:0.48mg/L),二、三池浮游动物的密度相近,分别为 4637.28ind/L、4410.38ind/L,同时高于四池(2434.5ind/L),三、四池的生物量相近,分别为 2.1127mg/L、2.109mg/L,同时高于二池(1.8797mg/L)(图 2)。

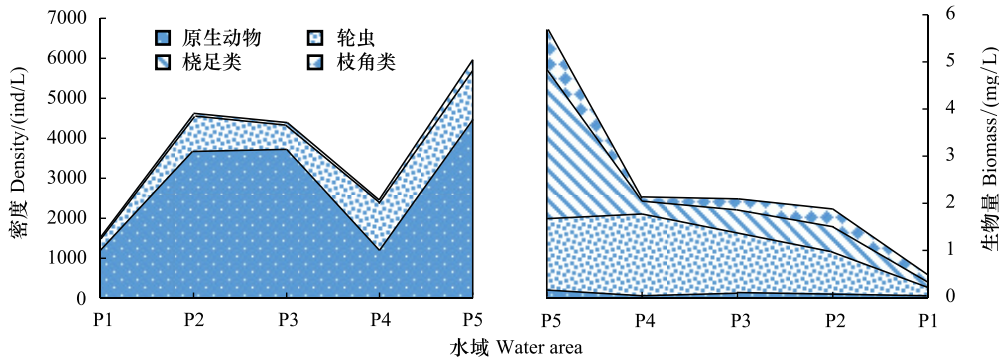


图 2 五大连池浮游动物密度、生物量的水平分布

Fig. 2 Spatial distributions of zooplankton density and biomass in Wudalianchi Lake

对五大连池浮游动物各类群密度、生物量的时间分布进行分析,结果表明,原生动物密度的优势在不同月

份均较为明显,不同年份其密度集中,2011—2013 年有下降的趋势;轮虫、桡足类、枝角类密度的月份、年份变化不明显,轮虫密度次于原生动物,桡足类、枝角类的密度相对较低(图 3)。轮虫生物量的优势在 10 月份较

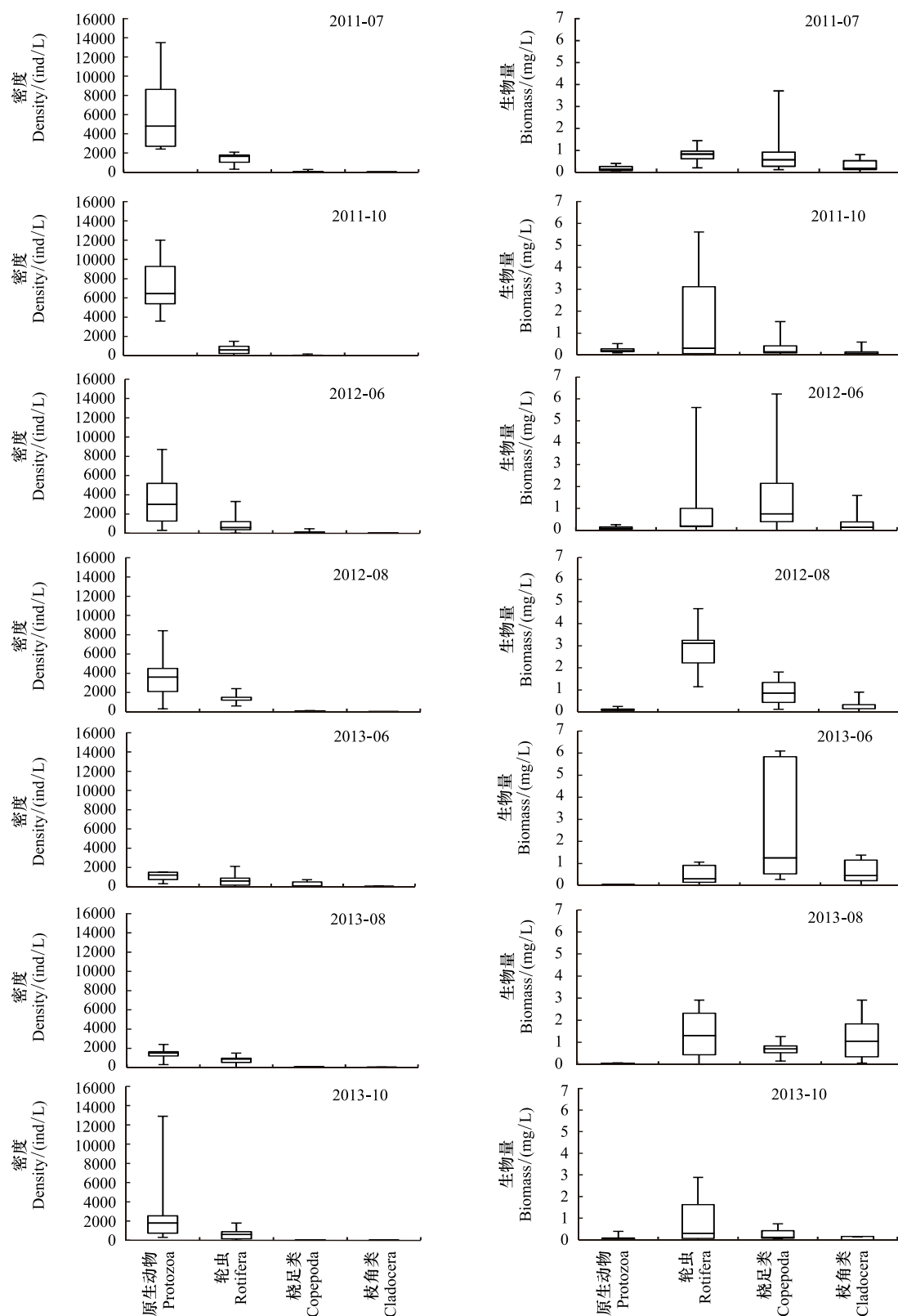


图 3 五大连池浮游动物各类群密度、生物量的时间分布

Fig. 3 Temporal distributions of zooplankton density and biomass in Wudalianchi Lake

为明显,6、7 月份桡足类的生物量存在优势,枝角类、原生动物生物量在各调查时间均不占优,枝角类较 6、7、8 月份,10 月份最低;而原生动物由于个体生物量低,虽密度较高但总生物量比轮虫、桡足类、枝角类低(图 3)。

二、三、五池均是五大连池水域面积较大的水体,分别占总水域面积的 15.4%、44.5%、35.8%,共占 95.7%。二、三池更是近五年五大连池主要放养鱼类的水域。因此,二、三、五池作为本研究的重点调查水域。二池(P2)、三池(P3)浮游动物的密度在同一年较为集中,且 2013 年较前两年有下降的趋势,五池(P5)浮游动物密度的波动主要体现在调查月份的不同,6—8 月份浮游动物的密度集中在 2655ind/L—5863.8ind/L,10 月份在 2011、2013 年两次调查中均体现较高值,分别为 12360ind/L 和 9631.5ind/L;2011—2013 年调查期间,二、三、五池浮游动物生物量的年份变化没有明显的梯度性;二池浮游动物的生物量在 0.3915mg/L—4.684 mg/L 变动,三池在 0.108mg/L—4.3425mg/L 变动,五池在 2.79mg/L—14.7375mg/L 变动,二、三池浮游动物的生物量表现为 8 月份高于 6、7、10 月份,五池浮游动物的生物量表现为 6 月份高于 7、8 月份高于 10 月份(图 4)。

2.3 多样性的时空分布

浮游动物的多样性,可以用种类组成、生物量分布等一系列参数来表达,但使用最多的还是各种多样性指数。相对而言多样性指数具有最可信的生态学指示作用^[19]。本研究采用常用的,以浮游动物密度进行计算的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J)以及 Margalef 种类丰富度指数(d),从不同的角度和侧面分析五大连池浮游动物的多样性。多样性的水平分布表现为五池最高(H' :2.72; J :0.77; d :1.35);二池(H' :2.14; J :0.67; d :1.03)、三池(H' :2.16; J :0.68; d :1.02)相似且次于五池;一池(H' :1.91; J :0.76; d :0.67)、四池(H' :1.82; J :0.62; d :0.84)较低(图 5)。

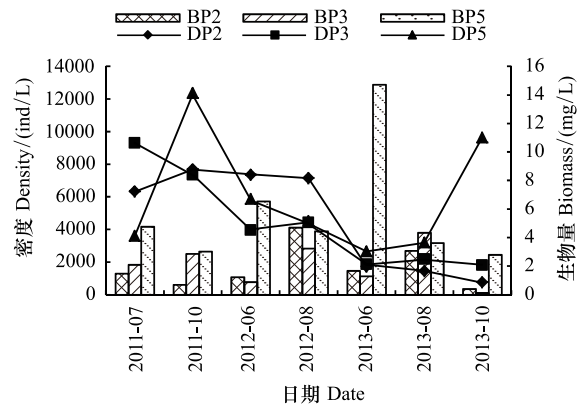


图 4 二、三、五池浮游动物密度、生物量的时空分布

Fig. 4 Spatial and temporal distributions of zooplankton density and biomass in P2, P3 and P5 Lakes

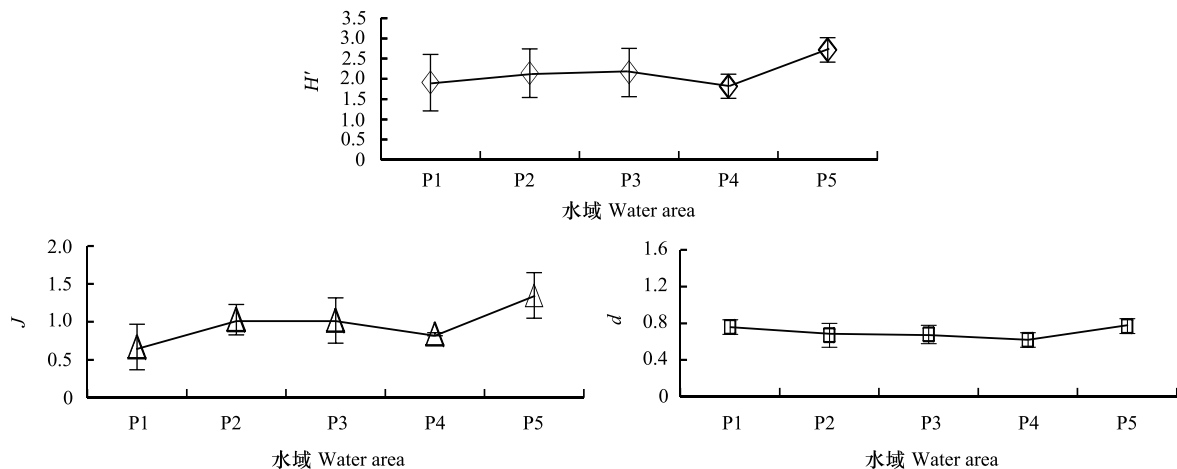


图 5 五大连池浮游动物多样性指数的水平分布

Fig. 5 Spatial distributions of diversity indices in Wudalianchi Lake

分析各多样性指数的年份变化,二、三池浮游动物的多样性、分布的均匀程度以及种类丰富程度均表现为逐年下降的趋势(图 6)。其中,二池 2011—2013 年 H' :2.87>2.42>1.47, J :0.8>0.75>0.54, d :1.29>0.99>0.89;三池 H' :2.92>2.07>1.71, J :0.8>0.66>0.62; d :1.33>1>0.82。五池 H' :2.94>2.61<2.66, J :0.82>0.73<0.76, d :1.49>1.33>1.28。从不同季节来看,五大连池浮游动物在二池春、夏、秋季 H' :1.85<2.31>2.19,三池 H' :1.83<

2.47>2.02, 五池 H' : 2.49<2.78<2.88; 均匀度指数 J 表现为二池春、夏、秋季分别为 $0.67=0.67<0.68$, 三池 J : $0.63<0.72>0.68$, 五池 J : $0.71<0.82>0.74$; 丰富度指数 d 在二池春、夏、秋季分别为 $0.71<1.24>1.05$, 三池 d : $0.9<1.21>0.84$, 五池 d : $1.31>1.2<1.62$ (图 6)。

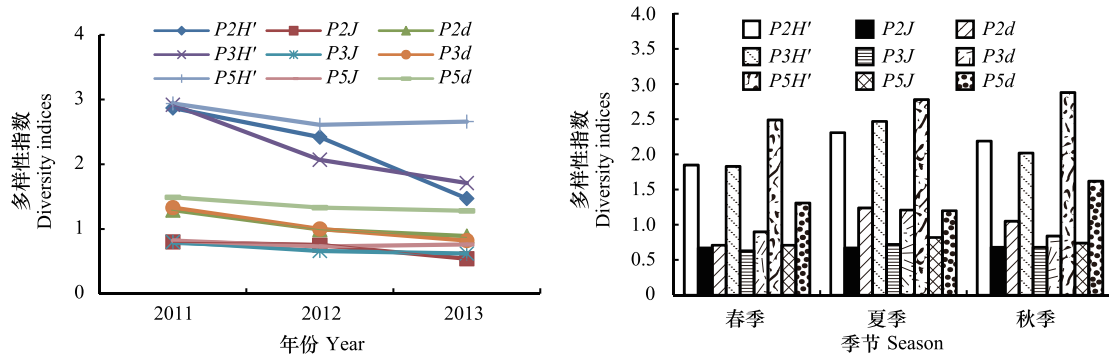


图 6 二、三、五池浮游动物多样性的年季变化

Fig. 6 Temporal distributions of diversity indices in P2, P3 and P5 Lakes

3 讨论

3.1 湖泊营养类型与浮游动物群落

五大连池营养类型为协调型-富营养-藻型湖泊,具有湖泊生物生产力随湖水中 N、P 等营养物质浓度增加而上升,藻类密度大的特点^[20]。湖水的营养盐类和有机质浓度及其输入率以及浮游植物的产量和现存量是决定湖泊营养化程度的主要因素^[21]。大量外源营养和有机质的注入会促进湖泊富营养化。五大连池湖水由五池依次流向一池,20 世纪 50 年代五池及其上游周边分布大面积农田,大量的农田退水导致淤泥沉积、营养盐类增加,营养化程度迅速加快,虽然五大连池以地下涌泉为主,但降雨尤其是每年 6–8 月份的汛期大量携带外源营养的河水补给促进了 N、P 和有机质的注入,加剧了五大连池的富营养化。另外,长期的自然变化,经湖水和雨水的冲刷,大量泥土、碎屑流入湖中,湖面积增加、水深变浅、底质发生变化,较一、二、三、四池,五池底质变化较大,由过去单纯玄武岩底质变为泥沙底,且淤泥厚度约 1m,深处可达 1.5m。富营养化湖泊底泥中蕴含的丰富营养盐会随湖泊环境变化重新释放进入水体^[22],为湖泊营养程度的维持提供储备。因此,五池的营养化程度较其它各池高(总磷:五池 0.603mg/L,一–四池分别为 0.298mg/L、0.322mg/L、0.267mg/L、0.197mg/L;总氮:五池 1.57mg/L,一–四池分别为 1.089mg/L、0.933mg/L、1.147mg/L、1.27mg/L)。在富营养化的浅水湖泊中,小型浮游动物往往更占优势,尤其是原生动物和轮虫,同时对总浮游动物的生物量的贡献较大^[23]。五大连池的主要优势种恩氏筒壳虫 *Tintinnidium entzii*、小筒壳虫 *Tintinnidium pusillum*、滚动焰毛虫 *Askenasia volvox*、侠盗虫 *Strobilidium* sp.、似铃壳虫 *Tintinnopsis* sp.、纵长异尾轮虫 *Trichocerca elongata*、针簇多肢轮虫 *Polyarthra trigla* 以及螺形龟甲轮虫 *Keratella cochlearis* 均属于小型浮游动物,密度、生物量分别是原生动物(75.2%)、轮虫(45.3%)最多。较 1980—1983 年调查结果^[1],小型浮游动物种类组成比例上升(1980—1983 年:79.4%,2011—2013 年:86.2%),优势种中大型浮游动物所占比例明显下降(1980—1983 年:33.3%,2011—2013 年:8.7%);另外,浮游动物总的密度、生物量有下降趋势(1980—1983 年:5113.7ind/L、3.1120mg/L,2011—2013 年:3794.98ind/L、2.4558mg/L)。从种类组成、优势种类、密度、生物量来看,五大连池属小型化浮游动物群落结构特征;其中,轮虫的种群动态将对五大连池浮游动物群落结构影响更大。这与许多富营养湖泊中轮虫占优的特征相似^[24–25],但某些例如水深较深、人类活动参与的富营养湖泊中大型浮游动物枝角类也可形成优势^[26]。可见湖泊的营养类型对浮游动物的群落结构虽有影响但不能最终决定湖泊中浮游动物的群落特征。在浅水湖泊中个体较大的大型浮游动物不易利用茂密的水生植被等躲避鱼类的捕食,它们在浅水湖泊中的不同栖息环境都易被捕食^[27]。因此,在较为复杂的、有人为活动影响的湖泊生境中浮游动物的群落

结构特征需要同时考虑非生物因素作用以及上、下行效应的调节。

3.2 滤食性鱼类的放养与浮游动物群落

在湖泊中,浮游动物的群落结构会受到上、下行效应的影响^[28]。滤食性鱼类产量增加时,轮虫的生物量在总浮游动物生物量中的比例升高^[29]。在富营养化的浅水湖泊中摄食浮游动物的鱼类在总鱼类群落中的比例越高,该湖泊中浮游动物的密度和生物量越低^[30]。另外,影响富营养化浅水湖泊生产和消费能力季节差异的主要因素是水温的季节变化^[31-33]。由于各池水域生态环境有较大的差异,水体功能各不相同,一、四池面积仅占 4.3%,均属过水性水域,其浮游动物群落结构的参数较低。二、三、五池均是五大连池水域面积较大的湖泊,西岸为玄武岩质绳状熔岩台地,东面有土岗与耕地接壤。目前,五大连池周围耕种面积已大大缩小,但五池及其上游耕地面积缩小后任然较二、三池大;且五池首先接收上游携带碎屑、泥沙的河水流入,而起到沉淀池的作用,底质底泥较厚,外源营养丰富,较一、二、三、四池水体生态环境差异较大。近五年,在二池、三池放养滤食性鱼类鲢、鳙,五池则主要以捕捞天然水体中的经济鱼类为主。由于逐年放养,鲢、鳙已成为二、三池主要捕捞鱼类,五池以鲫鱼为主。从种类组成、密度、生物量和各多样性指数分析,二、三、五池浮游动物群落结构的规律性也表现出明显差异,五池高于二、三池,且二、三池浮游动物群落结构的各参数相近。从时间分析,二、三池浮游动物的密度在同一年较为集中,且 2013 年较前两年有下降的趋势;五池浮游动物密度的波动主要体现在调查月份的不同,10 月份(秋季)高于 6-8 月份(春、夏季)。二、三池浮游动物生物量表现为 7、8 月份(夏季)高于 6、10 月份(春、秋季),五池生物量表现为 6>7>8>10 月份(春季>夏季>秋季)。二、三池浮游动物的多样性指数 H' 、 J 、 d 表现为夏季高于春、秋季;五池 H' 、 d 表现为秋季高于春、夏季,而五池 J 夏季高于春、秋季。总的来看,五大连池三个重点水域浮游动物群落结构的水平分布和季节差异明显,五池的密度和浮游动物分布的均匀程度表现为夏季高于春、秋季,生物量和多样性表现为秋季高于春、夏季;二、三池浮游动物群落结构的季节变化相同,密度、生物量、多样性均呈现夏季高于春、秋季。可见,不同种鱼类优势的存在对富营养浅水湖泊中浮游动物群落结构的影响存在差异;主要表现在滤食性鱼类优势湖泊浮游动物生物量下降显著。有研究指出了相似情况,在湖泊中自然环境因素、水化学指标和人类活动的影响等与浮游动物的群落组成相关,人类活动例如流域土地利用,湖泊中鱼类组成,滤食性鱼类比例与浮游动物群落结构特征相关性更强,滤食性鱼类占优对大型浮游动物限制作用更大^[26,29-30,34]。

3.3 五大连池浮游动物的合理利用

五大连池自 1955 年开始在三池投放鲢、鳙鱼种,后扩大到二池,逐步成为五大连池重要放流鱼类。鳙是五大连池主要放养鱼类之一。根据五大连池的水域自然状况,通过本研究调查五大连池浮游动物的生物量,基于何志辉评价鱼产潜力的公式^[35],经计算获得五大连池鳙的鱼产潜力为 $2.14 \times 10^5 \text{ kg}$ 。设定鳙的最高回捕率每年 25%,鳙的起水规格平均为 1.5kg,根据鳙合理放养量公式计算^[36],则五大连池鳙鱼种的合理放养量为 5.71×10^5 尾。值得注意的是,鱼类的摄食强度与食物基础的丰欠密切相关,同时,鱼类的摄食活动是受水体中许多因子共同制约,例如,摄食强度会随水温、溶氧等环境因子的变化呈现出昼夜节律性变化^[37]。因此,在鱼类生产潜力转化为实际产品量的过程,与水生生境承载、调节能力息息相关。另外,合理放养仅仅是为实现高产稳产打下良好基础,加强管理,提高放养鱼类成活率与回捕率才可达到在节省鱼种放养量的同时保持高产稳产,提高放养渔业的经济效益,又兼顾湖泊水域的生态环境,保障水产品质量安全,实现水域资源的可持续利用。

参考文献(References):

- [1] 张觉民. 黑龙江省渔业资源. 牡丹江: 黑龙江朝鲜民族出版社, 1985: 108-109.
- [2] 孔令军. 五大连池冬季水体中磷的分布特征. 环境科学与管理, 2011, 36(3): 123-126.
- [3] 张觉民. 黑龙江省鱼类志. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1995: 248-259.
- [4] 倪達書, 蔣燮治. 花鲢和白鲢的食料问题. 动物学报, 1954, 6(1): 59-71.
- [5] 吴利, 冯伟松, 张堂林, 徐昊, 余育和. 湖北省西凉湖浮游动物群落周年动态变化及其与环境因子的关系. 湖泊科学, 2011, 23(4):

619-625.

- [6] 刘艳芳, 吴振海, 孙学文. 桃林口水库浮游动物周年多样性分布. 水生生态学杂志, 2009, 2(6): 36-41.
- [7] 姜作发, 夏重志. 五大连池浮游植物种群动态与环境因子关系的研究. 植物研究, 1993, 13(2): 210-215.
- [8] 彭玉鲸, 李景春, 张广宇, 张允平. 中国东北晚全新世火山爆发最新的一次活跃期. 地质与资源, 2008, 17(4): 241-244, 249-249.
- [9] 周志强, 徐丽娇, 张玉红, 夏春梅, 李洪光, 刘彤, 马克平. 黑龙江五大连池的生态价值分析. 生物多样性, 2011, 19(1): 63-70.
- [10] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册. 北京: 农业出版社, 1991: 15-31.
- [11] 沈韞芬, 余育和. 原生动物分类系统概论 // 沈韞芬, 主编. 原生动物学. 北京: 科学出版社, 1999: 129-489.
- [12] 王家楫. 中国淡水轮虫志. 北京: 科学出版社, 1961: 21-283.
- [13] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志 淡水枝角类. 北京: 科学出版社, 1979: 80-273.
- [14] 中国科学院动物研究所甲壳动物研究组. 中国动物志-节肢动物门 甲壳纲 淡水桡足类. 北京: 科学出版社, 1979: 53-420.
- [15] 罗民波, 陆健健, 王云龙, 沈新强, 晁敏. 东海浮游植物数量分布与优势种. 生态学报, 2007, 27(12): 5076-5085.
- [16] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. London: University of Illinois Press, 1949: 296-297.
- [17] 孙军, 刘东艳, 宁修仁, 刘诚刚. 2001/2002 年夏季南极普里兹湾及其邻近海域的浮游植物. 海洋与湖泊, 2003, 34(5): 519-532.
- [18] Margalef R. Information theory in ecology. International Journal of General Systems, 1958, 3: 36-71.
- [19] Lloyd M, Zar J H, Karr J R. On the calculation of information-theoretical measures of diversity. American Midland Naturalist, 1968, 79(2): 257-272.
- [20] 舒金华, 黄文钰, 吴延根. 中国湖泊营养类型的分类研究. 湖泊科学, 1996, 8(3): 193-200.
- [21] 何志辉. 中国湖泊和水库的营养分类. 大连水产学院学报, 1987, 7(1): 1-10.
- [22] 濮培民, 王国祥, 胡春华, 胡维平, 范成新. 底泥疏浚能控制湖泊富营养化吗?. 湖泊科学, 2000, 12(3): 269-279.
- [23] Agasild H, Zingel P, Tönno I, Haberman J, Nöges T. Contribution of different zooplankton groups in grazing on phytoplankton in shallow eutrophic Lake Võrtsjärv (Estonia). Hydrobiologia, 2007, 584(1): 167-177.
- [24] Van Onsem S, De Backer S, Triest L. Microhabitat-zooplankton relationship in extensive macrophyte vegetations of eutrophic clear-water ponds. Hydrobiologia, 2010, 656(1): 67-81.
- [25] Wen X L, Xi Y L, Qian F P, Zhang G, Xiang X L. Comparative analysis of rotifer community structure in five subtropical shallow lakes in East China: role of physical and chemical conditions. Hydrobiologia, 2011, 661(1): 303-316.
- [26] Van Egeren S J, Dodson S I, Torke B, Maxted J T. The relative significance of environmental and anthropogenic factors affecting zooplankton community structure in Southeast Wisconsin Till Plain lakes. Hydrobiologia, 2011, 668(1): 137-146.
- [27] Nicolle A, Hansson L A, Brönmark C. Habitat structure and juvenile fish ontogeny shape zooplankton spring dynamics. Hydrobiologia, 2010, 652(1): 119-125.
- [28] Fermani P, Diovialvi N, Torremorell A, Lagomarsino L, Zagarese H E, Unrein F. The microbial food web structure of a hypertrophic warm-temperate shallow lake, as affected by contrasting zooplankton assemblages. Hydrobiologia, 2013, 714(1): 115-130.
- [29] Lin Q Q, Jiang X J, Han B P, Jeppesen E. Does stocking of filter-feeding fish for production have a cascading effect on zooplankton and ecological state? A study of fourteen (sub)tropical Chinese reservoirs with contrasting nutrient concentrations. Hydrobiologia, 2014, 736(1): 115-125.
- [30] Vijverberg J, Dejen E, Getahun A, Nagelkerke L A J. Zooplankton, fish communities and the role of planktivory in nine Ethiopian lakes. Hydrobiologia, 2014, 722(1): 45-60.
- [31] Vijverberg J, Boersma M, Van Densen W L T, Hoogenboezem W, Lammens E H R R, Mooij W M. Seasonal variation in the interactions between piscivorous fish, planktivorous fish and zooplankton in a shallow eutrophic lake. Hydrobiologia, 1990, 207(1): 279-286.
- [32] 林青, 由文辉, 徐凤洁, 俞秋佳, 余华光. 滴水湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系. 生态学报, 2014, 34(23): 6918-6929.
- [33] 杨丽丽, 何光喜, 胡忠军, 史文, 刘其根, 陈来生, 王金鹏, 杨卫明. 鲢鳙占优势的千岛湖浮游动物群落结构特征及其与环境因子的相关性. 水产学报, 2013, 37(6): 894-903.
- [34] Tiberti R, Iacobuzio R. Does the fish presence influence the diurnal vertical distribution of zooplankton in high transparency lakes?. Hydrobiologia, 2013, 709(1): 27-39.
- [35] 何志辉, 李永函. 清河水库的浮游生物. 水生生物学集刊, 1983, 8(1): 71-84.
- [36] 孙金辉, 胡莲, 乔之怡, 万成炎, 沈建忠. 云龙湖水库浮游生物调查及鲢、鳙鱼产潜力估算. 水生生态学杂志, 2011, 32(1): 78-83.
- [37] 谢从新. 池养鲢、鳙鱼摄食习性的研究. 华中农业大学学报, 1989, 8(4): 385-394.